



Santeri Kallio

LÄMPÖKAMERAN KÄYTTÖ UUSIEN ASFALTTIPÄÄLLYSTEI- DEN LAADUNVARMISTUKSESSA

LÄMPÖKAMERAN KÄYTTÖ UUSIEN ASFALTTIPÄÄLLYSTEI- DEN LAADUNVARMISTUKSESSA

Santeri Kallio
Opinnäytetyö
Kevät 2020
Rakennusalan työnjohdon tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennusalan työnjohdon tutkinto-ohjelma, infrarakentaminen

Tekijä: Santeri Kallio

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Lämpökameran käyttö uusien asfalttipäällysteiden laadunvarmistuksessa

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Using a thermal camera for quality assurance of new asphalt pavements

Työn ohjaajat: Jarmo Erho

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2020

Sivumäärä: 27

Työn aiheena on kertoa uusien asfalttipäällysteiden laadunvarmistamisesta sekä lämpökamerajärjestelmän käytöstä asfaltinlevittimessä osana laadunvarmistamista. Työssä tutkitaan myös lämpökameran käyttöä pienemmän mittakaavan taajama-alueella sijaitsevan kohteen laadunvarmistustyökaluna.

Kesällä 2019 suoritettua päällystyskohdetta esimerkkinä ja tarkastelukohteena käyttäen perehdytään lämpökameran käyttöön urakoitsijan näkökulmasta yleisesti sekä osana pientä ja haastavaa työkohdetta.

Lämpökameran käyttö laadunvarmistuksessa osoittautui erittäin päteväksi, asfaltin lämpötilan, pysähdysten sekä riskialueiden seurannassa, mutta toisaalta pienemmän ja hitaasti etenevän päällystyskohteen laaduntarkkailutyökaluna siitä ei saada täysin luotettavaa dataa päällysteen tasalaatuisuudesta.

Asiasanat: lämpökamerat, laadunvarmistus, asfaltti

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree in Construction Management, Infrastructure Construction

Author: Santeri Kallio

Title of thesis: Using a thermal camera as part of quality assurance for new asphalt pavements

Supervisors: Jarmo Erho, Ari Leivonmäki

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2020

Pages: 27

The thesis is about to describe the quality assurance of new asphalt pavements and the use of a thermal camera system in a paver as part of quality assurance and to investigate the use of a thermal camera as a quality assurance tool for a smaller urban area.

For a practical point of view, a paving site from the summer of 2019 is being used as an example. The use of a thermal camera system will be introduced in general and as part of a smaller and more challenging work from the contractor's perspective.

The use of a thermal camera for quality assurance generally proved to be highly valid, but on the other hand, as a quality monitoring tool for a smaller and slowly progressing paving project, it does not provide fully reliable data on the homogeneity of the asphalt.

Keywords: asphalt, thermal cameras, quality assurance

SISÄLLYS

| | |
|--|----|
| TIIVISTELMÄ | 3 |
| ABSTRACT | 4 |
| SISÄLLYS | 5 |
| 1 JOHDANTO | 6 |
| 2 PÄÄLLYSTEEN LAADUNVARMISTUS | 7 |
| 2.1 Laatuvaatimusten asettaminen | 7 |
| 2.2 Uusien päällysteiden laadunosoitusmittaukset | 8 |
| 2.2.1 Päällystekiviaineksen ominaisuudet | 8 |
| 2.2.2 Asfalttimassan ja päällysteen koostumus | 8 |
| 2.2.3 Tasalaatuisuus | 9 |
| 2.2.4 Tyhjätila | 10 |
| 2.2.5 Kitka | 11 |
| 2.3 Päällysteen lämpötila | 12 |
| 2.3.1 Asfalttimassan valmistuslämpötilat | 12 |
| 2.3.2 Asfalttimassan kuljetus | 12 |
| 2.3.3 Levitettävän asfalttipäällysteen lämpötilan seuranta | 13 |
| 2.3.4 Bonukset ja arvonnäennys | 14 |
| 3 LÄMPÖKAMERAN KÄYTTÖ LEVITTIMESSÄ | 16 |
| 3.1 Päällystyskohde | 17 |
| 3.2 Lämpökameratekniikka | 17 |
| 3.3 Hyödyt | 19 |
| 3.4 Haitat | 19 |
| 3.5 Haasteet | 20 |
| 3.6 Tulosten läpikäynti | 21 |
| 4 JOHTOPÄÄTÖKSET | 24 |
| 5 POHDINTA | 25 |
| LÄHTEET | 26 |

1 JOHDANTO

Suomen valtion tieverkon ylläpidosta ja kehittämisestä vastaa Väylävirasto yhdessä alueellisten ELY-keskusten kanssa. Näiden tahojen alaisuudessa on kaikkiaan 78 000 km maanteitä, joista n. 65 % eli n. 50 000 km on kestopäällystettyjä. (1.)

Väylävirasto ja ELY-keskukset kilpailuttavat vuosittain maanteiden päällystys- ja tiemerkintäurakat, joihin valtion budjetista on vuosittain käytettävissä noin 140 miljoonaa euroa, josta 20 miljoonaa tiemerkintöihin ja loput päällysteiden korjaamiseen ja uusimiseen. (2.)

Päällystysurakoiden tarjouspyynnöissä määritellään kutakin urakkaa koskevat laatuvaatimukset ja materiaalit, mitä urakoitsijan tulee noudattaa. Osana vuosien 2016–2018 aikana suoritettua maanteiden korjausvelkaohjelmaa Väylävirasto, silloinen Liikennevirasto, ja ELY-keskukset tutkivat digitalisaation mahdollisuuksia tehostaa päällystystöitä yhdessä urakoitsijoiden kanssa. Yhtenä osana tätä hanketta suoritettiin digikokeilu, jossa käytettiin Roadscanners -lämpökameraa laadunvarmistus- ja raportointijärjestelmänä asfaltinlevittimeen kiinnitettynä. (2.)

1980-luvun lopulta alkaen lämpökameratekniikkaa on käytetty erilaisilla liikenneinfraradienttien työmailla tutkimuksiin ja laadunvalvontaan. Alun perin käyttö liittyi lähinnä siltojen kansirakenteiden kuntoselvitykseen yhdessä maatutkan kanssa, mutta sittemmin 2000-luvulla lämpökameran suurin aluevaltaus on ollut asfaltointityömailla, työnjohdon ja työntekijöiden ohjaavana laadunvalvonnan apuvälineenä. (3.)

Yleisesti lämpökameraa käytetään suurissa päällystyskohteissa, usein valta- tai kanta-teillä, joissa tekniikka on todettu hyödylliseksi ja toimivaksi. Tämän työn tarkoituksena on perehtyä uusien päällysteiden laadunvarmistukseen ja lämpökameran käyttöön työnaikaisessa laadunvarmistamisessa, sekä siitä saatavaan raporttiin levitystyöstä työnjohdon näkökulmasta. Lisäksi tarkastellaan lämpökameran käyttöä ja sen hyötyjä tai haittoja tavallista pienemmän, taajama-alueella sijaitsevan päällystyskohteen laadunvalvontatyökaluna. Tarkemmin perehdytään päällysteen lämpötilan vaikutukseen valmiin päällysteen laatuun.

2 PÄÄLLYSTEEN LAADUNVARMISTUS

2.1 Laatuvaatimusten asettaminen

Asfalttipäällysteiden raaka-aineiden, asfalttimassojen ja päällysteiden laatuvaatimukset asetetaan valitsemalla Asfalttinormeista tarvittavat ominaisuudet kuhunkin päällystettävään kohteeseen. Urakan tarjouspyynnössä ilmoitetaan vaatimukset sekä luokat, joita kyseisellä kohteella noudatetaan. (4, s. 16.)

Asetettaessa vaatimuksia tulee ottaa huomioon, ettei samalle ominaisuudelle aseteta päällekkäisiä vaatimuksia. Tämä tulee ottaa huomioon myös toiminnallisia vaatimuksia sekä massan koostumukseen liittyviä teknisiä vaatimuksia asetettaessa. Massoille ja niiden raaka-aineille voidaan kuitenkin vaatia Asfalttinormeista poikkeavia vaatimuksia esimerkiksi testaustiheydestä. Näistä tulee sopia kirjallisesti tilaajan ja urakoitsijan välillä. (4, s.16.)

Asfalttipäällysteille asetetaan laatuvaatimukset sopimusasiakirjoissa sen mukaan, millaisia ominaisuuksia päällystyskohteen käyttö, liikennemäärä ja sijainti edellyttävät (taulukko 1). Laatuvaatimukset asfalttimassoille sekä päällysteille ja niiden raaka-aineille esitetään PANK ry:n tuottamassa Asfalttinormit 2017 -julkaisussa. Työn tekemistä ja menetelmiä koskevat vaatimukset esitetään InfraRYL:ssä sekä urakkasopimusasiakirjoissa. (4, s. 17.)

TAULUKKO 1. Laatuvaatimusten esittämisessä käytetty luokitus kaksikaistaisella tiellä tai kadulla (4, s. 17)

| LAATUVAATIMUSLUOKKA | | |
|---------------------|-----------------------|------------|
| | Nopeusrajoitus (km/h) | |
| | ≥ 80 | <80 |
| | KVL (autoa/vrk) | |
| A | >5000 | >10000 |
| B | 2500-5000 | 5000-10000 |
| C | 1500-2500 | 2500-5000 |
| D | <1500 | <2500 |

2.2 Uusien päällysteiden laadunosoitusmittaukset

Väyläviraston sekä ELY-keskusten päällystystöissä vaaditaan pääsääntöisesti tutkittavaksi päällystekiviaineksen ominaisuudet, asfalttimassan ja päällysteen koostumus, tasalaatuisuus, tyhjätila, kitka sekä tasaisuus. Lisäksi työn aikana on seurattava päällysteen lämpötilaa ja menekkiä. (5.)

2.2.1 Päällystekiviaineksen ominaisuudet

Kiviaineksen laatu osoitetaan Asfalttinormien mukaisella CE-merkillä. CE-merkistä tulee käydä ilmi seuraavat ominaisuudet:

- rakeisuusluokka erillisenä dokumenttina laadunvalvonnan tulokset
- hienoainespitoisuuden luokka
- kiintotiheys ja vedenimeytyminen
- tarvittaessa jäädytys-sulatuskestävyyden luokka
- litteyslukuluokka
- petrografinen nimi
- kuulamylyarvon luokka. (4, s. 76.)

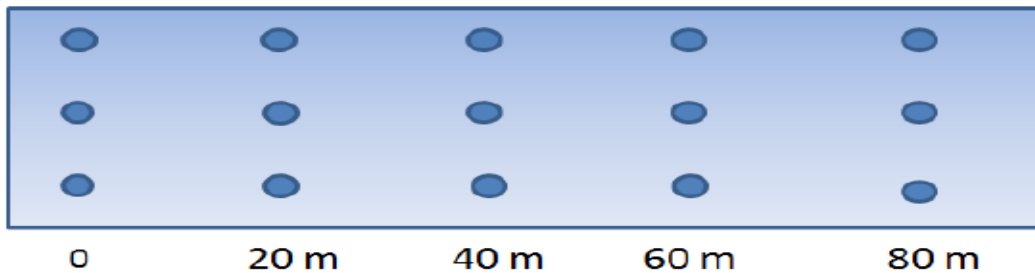
Nastarengaskulutuskestävyys määritetään SFS-EN 1097-9 -menetelmällä, josta saadaan kuulamylyarvo. Kuulamylytestin tulos ilmoitetaan yhden desimaalin tarkkuudella. Tuotestandardien luokat, jotka ilmoitetaan CE-merkissä, ovat kuitenkin ilmoitettu kokonaislukuna. Luokan valinta tapahtuu matemaattisia pyöristyssääntöjä käyttäen. Esimerkiksi kuulamylykokeesta saatava tulos 7,4 kuuluu luokkaan AN7 ja vastaavasti tulos 7,5 AN10-luokkaan. (5, s. 7.)

Päällystekohteilla käytettävä kiviaines tulee tutkia tuotantoeräkohtaisesti. Kuulamylykokeita varten on otettava, tutkittava ja raportoitava näyte aina 3000 tonnin välein ja koostekiviaineksista 6000 tonnin välein, kuitenkin vähintään 3 kpl / lajite (5, s. 7).

2.2.2 Asfalttimassan ja päällysteen koostumus

Päällysteen koostumusta tutkitaan levitettävältä kaistalta otettavin massanäyttein. Massan tulee olla tasalaatuista koko työstettävän kaistan leveydeltä. Suurimmat sallitut poikkeamat löytyvät Asfalttinormeista 2017 taulukosta 4. Mikäli otetuissa näytteissä havaitaan

sallittujen poikkeamien ylityksiä, noudatetaan urakkakohtaisia arvon muutosperusteita. Massanäytteet otetaan menetelmäkuvauksen PANK 4007 mukaisesti (kuva 1). (5. s. 8.)



KUVA 1. Massanäytteiden ottokaavio levitettävältä kaistalta. (5, s.8)

2.2.3 Tasalaatuisuus

Uuden päällysteen tulee olla silminnähden tasalaatuista. Rakeisuuslajittumia, sideaineen pintaan nousua tai halkeamia ei sallita. Sideaineen pintaannousukohdissa tarkastetaan tarvittaessa, että päällyste täyttää Asfalttinormeissa esitetyt kitkavaatimukset. Tarkastuksista laaditaan aina työvirheluettelo. Työvirheet luokitellaan kahteen luokkaa. Luokkaan 1 kuuluvat virheet on korjattava aina, kun taas luokan 2 virheet voidaan hyväksyä arvonmuutosperustein (taulukko 2). Tasalaatuisuutta mitataan myös PTM-autolla. (5, s.10.)

PTM-autolla tehtävät laadunvalvontamittaukset noudattavat Asfalttinormeissa, PANK-menetelmäkorteissa 5207, 5208 ja 5209 sekä InfraRYLin kohdassa 21411.5.7.1 annettuja periaatteita ja toimintatapoja (5, s. 14).

TAULUKKO 2. Virheluokittelu tasalaatuisuuden arvioinnissa. (5, s.10)

| | 1-luokan virheet aina korjattavat virheet | 2-luokan virheet arvonmuutoksin vastaan- otettavissa olevat virheet |
|---|--|---|
| Lajittu- mat | Liikenneturvallisuutta vaarantava sideaineen pintaan nousu, jonka kohdalla kitkavaatimus alittuu. Selvästi havaittava purkautumisaltis rakeisuuslajittuma. | Vähäinen, satunnainen rakeisuuslajittuma tai sideaineen pintaan nousu tai levitystyössä syntynyt pituussuunnassa yhtenäinen merkitykseltään vähäinen lajittuma. |
| Hal- keamat | Selvästi havaittava halkeama Verkkohalkeamat | Yksittäinen pieni halkeama, joka ei ulotu päällystekerroksen läpi. |
| Sauma- virheet | Saumakohta on selvästi porrastunut tai kouruuntunut (kourun syvyys tai portaan korkeus on 8 mm tai enemmän). Sauma on avoin Kaikki jalankulkua ja pyöräilyä haittaavat saumavirheet. | Saumakohta on kouruuntunut tai porrastunut, kourun syvyys tai portaan korkeus on 4–8 mm. |
| Muut ulkonäkövirheet, kuten reunan mutkittelu, raportoidaan osana virheluetteloa. | | |

2.2.4 Tyhjätila

Tyhjätilatutkimuksella saadaan selville päällysteen tiiveyden tasalaatuisuus. Päällysteen tyhjätilaa tutkitaan pääsääntöisesti päällystetutkamenetelmällä. Kaikki kohteet, joiden pituus on vähintään 1,0 km mitataan päällystetutkalla. Tätä lyhyempien kohteiden tyhjätila tutkitaan poranäytteistä Asfalttinormien mukaan. Tyhjätilavaatimukset ovat molemmissa tutkimusmenetelmissä samat. Tyhjätila mitataan SMA-, AB-, ABK-, ja ABS päällysteiltä. Peruslähtökohta tutkimukselle on, että mitataan kaikista päällystetyistä kaistoista yksi ajoura. Asfalttinormien taulukossa 5 on esitetty sallitut tyhjätilat päällystelajeittain yksittäisille näytteille sekä näytteiden keskiarvovaatimukset (taulukko 3). (5, s.11.)

TAULUKKO 3. Sallittu tyhjätila ajoradalla eri laatuvaatimusluokissa A-D (SFS-EN 12697-8, PANK 4123). (4, s. 21)

| Päällyste | Tyhjätila V (til-%) | | | | | |
|-------------|---------------------|-------|-------|-----------|-------|-------|
| | Yksittäinen näyte | | | Keskiarvo | | |
| | A, B | C | D | A, B | C | D |
| AB 5 - 8 | | ≤ 7,0 | ≤ 8,0 | | ≤ 6,0 | ≤ 7,0 |
| AB 11 | | ≤ 6,0 | ≤ 7,0 | | ≤ 5,0 | ≤ 6,0 |
| AB 16 - 22 | ≤ 5,0 | ≤ 5,0 | ≤ 6,0 | 1,0 - 4,0 | ≤ 4,0 | ≤ 5,0 |
| SMA 5 - 22 | ≤ 6,0 | ≤ 6,0 | | 1,0 - 5,0 | ≤ 5,0 | |
| ABS 16 - 22 | ≤ 6,0 | | | 2,0 - 5,0 | | |
| ABK 22 - 32 | ≤ 8,0 | ≤ 8,0 | ≤ 8,0 | ≤ 7,0 | ≤ 7,0 | ≤ 7,0 |
| AA 11 - 16 | 14- 25 | | | 14 - 25 | | |

2.2.5 Kitka

Päällysteen sulan kelin kitka mitataan tarvittaessa PANK 5201:n mukaisesti märeältä päällysteeltä. Kitka mitataan, jos päällysteen pinnassa havaitaan sideaineen pintaan nousua, jos pinta näyttää erityisen sileältä tai jos muiden havaintojen perusteella päällyste tuntuu erityisen liukkaalta. Mittausalue valitaan siten, että se kattaa mahdollisimman hyvin koko päällystyskohteen liukkaimmaksi arvioituja kohtia. (5, s. 12.)

Mittaus suoritetaan ajoneuvoon asennetulla mittauslaitteella ajonopeuden ollessa 60 km/h. Päällysteen pinta kastellaan ennen mittauksia siten, että pinnalla on noin yhden millimetrin paksuinen kerros vettä mittaushetkellä. Mittaukset suoritetaan mittausjaksoina, joissa yksittäisen kitkamittausjakson pituus on 200–400 m (taulukko 4). (5, s. 12.)

TAULUKKO 4. Kitkamittausjaksojen määrä suhteessa päällystyskohteen pituuteen.

| Päällystyskohteen pituus (km) | Kitkamittausjaksojen määrä (kpl) |
|-------------------------------|--|
| 0,2-1 | 1 |
| 1-10 | 3 |
| yli 10 | 10 % kohteen pituudesta jaoteltuna 200-400 m pituisiin jaksoihin |

2.3 Päällysteen lämpötila

Asfaltin normaali lämpötila on 120–180 °C. Usein pyritään siihen, että levityskohteella lämpötila olisi 150–160 °C. Suurimmat asfalttimassan lämpötilaan vaikuttavat tekijät ovat valmistuslämpötila, kuljetustapa ja kuljetuskalusto sekä sääolosuhteet kuljetuksen aikana. (6, s. 24.)

2.3.1 Asfalttimassan valmistuslämpötilat

Asfalttimassan valmistuslämpötila riippuu käytettävästä sideaineesta. Sideaineidenvalmistaja antaa tuotteelleen lämpötilarajat (taulukko 5), joita tulee noudattaa asfalttimassan valmistuksessa. Asfalttimassaa tulee sekoittaa riittävän kauan, että kiviainesrakeet ehtivät peittyä tasaisesti sideaineella ja näin massa saavuttaa riittävän tasalaatuisuuden. (4, s. 35.)

TAULUKKO 5. Asfalttimassan enimmäislämpötilat asfalttiasemalla. (4, s. 35)

| Bitumin luokka | Lämpötila °C |
|----------------|--------------|
| PMB | 200 |
| 35/50 | 190 |
| 50/70 | 180 |
| 70/100 | 180 |
| 100/150 | 170 |
| 160/220 | 165 |
| 250/330 | 160 |
| 330/430 | 155 |
| 500/650 | 150 |
| 650/900 | 140 |
| V1500;V3000 | 120 |

2.3.2 Asfalttimassan kuljetus

Massan kuljetusprosessi tulee suunnitella työkohteeseen sopivaksi siten, että kuljetuskalustoa on riittävästi ja massan tulo on tasaista suhteessa levitysnopeuteen. Näin vältetään levittimen turhilta pysähdyksiltä, jotka aiheuttavat massan epätasalaatuisuutta. (7, s. 1–2.)

Kuljetuskaluston on oltava sellaista, että se soveltuu massan kuljetukseen ja mitoitukseltaan käytettävään levityskalustoon soveltuvaa. Massan kuljetuksessa suositellaan käytettäväksi pyöreäpohjaisia lavoja tai vähintään sellaisia lavoja, joiden pituussuuntaiset kulmat on pyöristetty tai muutoin tehty rakenteeltaan sellaisiksi, ettei massa tartu niihin. Tämän ansioista massan purkamistoimenpiteessä lajittuminen saadaan mahdollisimman pieneksi. Siirtolavakiskoilla varustettua lavaa ei tulisi käyttää massan kuljetukseen lainkaan, koska kiskot aiheuttavat voimakasta lajittumista massaan kippausvaiheessa. (7, s. 2.)

Kuljetuskaluston lavat tulee olla mahdollista peittää helposti. Asfalttikuorma tulee peittää aina, kun sataa tai on sateen uhka, ajomatka kohteelle on yli 20 km tai lämpötila on alle +10 °C ja ajomatka yli 10 km. Nykyään suositellaan myös asfalttimassan kuljetukseen käytettävän lavan seinämien eristämistä. Tällä pyritään estämään massan ylimääräinen jäähtyminen. (7, s. 3.)

2.3.3 Levitettävän asfalttipäällysteen lämpötilan seuranta

Kohteelta tallennetaan lämpötila-arvot työstettävältä kaistalta vähintään kolmelta mittalinjalta siten, että mittauksista saadaan kattava tieto kaistan molemmilta reunoilta sekä keskeltä. Lämpötilaa mitataan jatkuvasti sekä automaattisesti levitystyön ollessa käynnissä. Lämpötilan mittaamiseen käytetty laite voidaan asentaa siten, että se mittaa levitetyn massan lämpötilan korkeintaan neljän metrin etäisyydeltä levittimen perän jälkeen. (5, s. 17.)

Käytettäessä lämpötilaa korreloimaan päällysteen tasalaatuisuutta tulee lämpötila-arvot tallentaa koko kaistan leveydeltä pituussuunnassa vähintään 0,1 metrin välein jatkuvana lämpötilan tallennuksena (5, s. 17).

Lämpötilan mittaukseen on asetettu seuraavia vaatimuksia:

- Laitteiston erottelukyvyn täytyy olla 0,5 °C tai parempi.
- Mittaustarkkuus tulee olla vähintään ± 2 °C tai ± 2 % mitatusta lukemasta.
- Laitteiston täytyy pystyä mittaamaan lämpötilat väliltä 0–250 °C.
- Mittauspisteitä tulee olla kaistan leveyssuunnassa vähintään 10 pistettä metrille.
- Mittaukset tulee sitoa paikkatietoon, GPS-koordinaatteihin tai tierekisteriin.
- Etäisyys lasketa täytyy tapahtua vähintään 0,1 metrin tarkkuudella.

- Laitteiston tulee pystyä seuraamaan levittimen nopeutta ja pysähdyksiä sekunnin tarkkuudella. (5, s. 17.)

Lämpötilaa mittaava laitteiston toiminta ja mittatarkkuus tulee todentaa kahden vuoden välein kalibroinnilla ja kalibroinnista tulee esittää todistus tilaajalle. Laitteiston saa asentaa vain järjestelmätoimittajan ohjeiden ja vaatimusten mukaisesti. (5, s. 17.)

2.3.4 Bonukset ja arvonvähennys

Lämpötilan mittauksesta saadut tulokset raportoidaan työkohteittain kohteen valmistuttua 100 metrin jaksoissa. Saadut tulokset luovutetaan tilaajalle. Valmiin kohteen laadun arvioinnissa, tulosten perusteella voidaan maksaa bonusta urakkakohtaisissa arvomuutosperusteissa esitetyn kohdan mukaan. Mittaustuloksissa bonuksen määräytymiseen vaikuttaa riskialueiden prosentuaalinen osuus. Riskialueeksi katsotaan sellaiset alueet, joissa lämpötila on alle 90 % viimeisen 100 metrin liukuvasta keskiarvolämpötilasta. Kaikki alle 80 °C:n mitatut lämpötilat jätetään huomioimatta laskennassa. 30 cm:n osuus levitetyn kaistan reunoilta jätetään myös huomiotta laskelmassa. Riskialueiden osuus bonuksesta tai arvonvähennyksestä on 65 % (5, s. 18.)

Pysähdysten osuus bonuksen tai arvonvähennyksen vaikutukseen on 35 %. Pysähdyksiä tarkastellessa kohde jaetaan kilometrin mittaisiin osuuksiin. Yli kahden minuutin mittaiset pysähdykset vähentävät kohteen bonusta siten, että yksi yli 2 minuuttia kestävä pysähdys vähentää bonusta 10 %. Kymmenen kappaletta yli kahden minuutin pysähdystä tarkasteltavalle kilometrille tarkoittaa, että kilometriltä ei makseta bonusta. Kymmenen kappaleen ylimenevät pysähdykset vastaavasti vähentävät arvoa 10 % jokaista yli kahden minuutin pysähdystä kohden (taulukko 6). (8, s. 8.)

TAULUKKO 6. Levittimen pysähdysten vaikutus kohteen bonukseen. (9.)

| Metriä | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1000 | 100 % | 90 % | 80 % | 70 % | 60 % | 50 % | 40 % | 30 % | 20 % | 10 % | 0 % | -10 % | -20 % | -30 % | -40 % | -50 % | -60 % | -70 % | -80 % | -90 % | -100 % |
| 900 | 90 % | 80 % | 70 % | 60 % | 50 % | 40 % | 30 % | 20 % | 10 % | 0 % | -10 % | -20 % | -30 % | -40 % | -50 % | -60 % | -70 % | -80 % | -90 % | -100 % | |
| 800 | 80 % | 70 % | 60 % | 50 % | 40 % | 30 % | 20 % | 10 % | 0 % | -10 % | -20 % | -30 % | -40 % | -50 % | -60 % | -70 % | -80 % | -90 % | -100 % | | |
| 700 | 70 % | 60 % | 50 % | 40 % | 30 % | 20 % | 10 % | 0 % | -10 % | -20 % | -30 % | -40 % | -50 % | -60 % | -70 % | -80 % | -90 % | -100 % | | | |
| 600 | 60 % | 50 % | 40 % | 30 % | 20 % | 10 % | 0 % | -10 % | -20 % | -30 % | -40 % | -50 % | -60 % | -70 % | -80 % | -90 % | -100 % | | | | |
| 500 | 50 % | 40 % | 30 % | 20 % | 10 % | 0 % | -10 % | -20 % | -30 % | -40 % | -50 % | -60 % | -70 % | -80 % | -90 % | -100 % | | | | | |
| 400 | 40 % | 30 % | 20 % | 10 % | 0 % | -10 % | -20 % | -30 % | -40 % | -50 % | -60 % | -70 % | -80 % | -90 % | -100 % | | | | | | |
| 300 | 30 % | 20 % | 10 % | 0 % | -10 % | -20 % | -30 % | -40 % | -50 % | -60 % | -70 % | -80 % | -90 % | -100 % | | | | | | | |
| 200 | 20 % | 10 % | 0 % | -10 % | -20 % | -30 % | -40 % | -50 % | -60 % | -70 % | -80 % | -90 % | -100 % | | | | | | | | |
| 100 | 10 % | 0 % | -10 % | -20 % | -30 % | -40 % | -50 % | -60 % | -70 % | -80 % | -90 % | -100 % | | | | | | | | | |

3 LÄMPÖKAMERAN KÄYTTÖ LEVITTIMESSÄ

Lämpökamera asennetaan levittimiin siten, ette se pystyy mittamaan levittimen perän jälkeä päällysteen lämpötilaa koko työstettävän kaistan leveydeltä. Lämpökamerajärjestelmä sisältää lämpökamerayksikön, näytöllisen tiedonkeruuyksikön, GPS- ja 3G- tai 4G-antennin sekä levittimeen kiinnitettävän etäisyysmittarin. Lisäksi työnjohdolla on mahdollisuus saada käyttöönsä web-palvelu, josta voidaan tarkastella etänä reaaliaikaisesti lämpökameran tuottamaa dataa. Asennus sekä asennustarvikkeet sisältyvät lämpökamerajärjestelmän toimittajan palveluun. Kuvassa 2 näkyy lämpökamera, tiedonkeruuyksikkö GPS-paikannin sekä mobiiliverkkoantenni. (10.)



KUVA 2. Levittimeen asennettuna lämpökamera, tiedonkeruuyksikkö sekä GPS-paikannin ja mobiiliverkkoantenni.

3.1 Päälystyskohde

Eräällä Pirkanmaan ELY-keskuksen päälystyskohteella käytettiin Roadscanners Oy:n lämpökamerajärjestelmää osana päälysteen laadunvalvontaa. Kohde sijaitsee taajama-alueella. Kohteella päälystettiin uudelleen ajorataa noin 2,5 km matkalta AB16/100-päälysteellä sekä kevyenliikenteenväylää noin 2,7 km matkalta AB11/100-päälysteellä. Kevyen liikenteen väylä on pääosin korotetulla osuudella kiinni ajoradassa. Molemmissa tapauksissa vaadittiin levittimessä käytettäväksi lämpökameraa.

YIT Teollisuus Oy:n Seinäjoen alueen piiri valikoitui työn suorittajaksi, koska Seinäjoen asfalttiasema on lähimpänä kohdetta. Kuljetusmatkaa asemalta päälystyskohteella kertyy noin 80 km.

Ajoradan osuus päälystettiin kesäkuun 2019 alkupuolella, jonka jälkeen korotettujen kevyen liikenteen väylien reunakivetys uusittiin liukuvalettavalla reunakivellä. Kevyen liikenteen väyliä päästiin päälystämään kesäkuun 2019 lopulla.

Järjestelmän asensi Roadscannersin tukihenkilö yhdessä levittimen kuljettajan kanssa. Alkuasennus kesti noin tunnin. Tukihenkilö opasti levittimen kuljettajalle, mitkä osat järjestelmästä täytyy irrottaa työvuoron loputtua ja miten ne täytyy taas seuraavan työvuoron alussa kytkeä paikoilleen. Irrottaminen ja kiinnittäminen molemmissa tapauksissa kesti vain noin 5 minuuttia.

3.2 Lämpökameratekniikka

Lämpökamera eli infrapunakamera mittaa ympäristön lähettämää säteilyä infrapunataajuudella ja muodostaa siitä videokamera tyyppisen kuvan. Infrapunakamera voi mitata jopa 14 000 nanometrin taajuista säteilyä, kun taas normaalit valoon perustuvat kamerat mittaavat ainoastaan 450–750 nanometrin taajuista säteilyä eli näkyvää valoa. (3, s. 4.)

Roadscanners Oy:n lämpökamerajärjestelmä RD Paver Service sisältää näyttösalkun, GPS-paikantimen, matkapyörän, lämpökameran sekä mobiiliverkkoantennin (8, s. 6).

Lämpökamera mittaa lämpötilaa levitetystä päälysteestä. Valmistaja ilmoittaa kyseisen lämpökameran mittatarkkuudeksi ± 2 astetta. Mittauspisteiden määrä vaakasuunnassa on

320 pikseliä. Pisteitä on aina vähintään 10 pikseliä metrillä. Mittauksia kerätään etenemissuunnassa 10 cm:n välein. Kuvassa 3 lämpökamerajärjestelmä käytössä asfaltinlevittimessä. (8, s. 6.)



KUVA 3. Lämpökamerajärjestelmä käytössä ajoradan päällystämässä.

GPS-paikannin mittasi yhdessä mittapyörän kanssa levittäjän nopeutta ja pysähdyksiä sekä niiden kestoa. Paikannusta pystyttiin seuraamaan reaaliajassa näytöltä sekä web-palvelun ansiosta etänä miltä päätelaitteelta tahansa. Paikannus sidottiin tierekisteriin.

Näyttösalkun näytöstä pystyy lukemaan reaaliaikaisesti lämpötilamattoja, jonka kamera muodostaa levitetystä kaistasta (kuva 4). Näytöltä käy ilmi minimi- ja maksimi lämpötilat kuluneella mittausjaksolla, riskialueiden määrän prosentteina, tierekisterin mukaisen sijainnin, kuljetun matkan, kaistan leveyden, levitetyn neliön, levitysnopeuden, yli 2 minuuttia kestäneiden pysähdysten määrän sekä pysähdyksissä ollessa pysähdysten keston. Tiedot tallentuivat näyttösalkun tietokoneeseen, josta ne lähetettiin reaaliajassa pilvipalveluun, jonka kautta etäyhteys laitteeseen saatiin muodostettua. Roadscannersin tukihenkilö pystyy säätämään laitetta etänä pilvipalvelun ansiosta. Työmaahenkilöstön täytyy

huolehtia ainoastaan tallennuksen aloituksesta ja lopetuksesta, joka suoritettiin näyttösalkun kosketusnäytöltä. Tallennus tulee aloittaa muutama metri levityksen aloituksen jälkeen ja lopettaa hieman ennen, kuin levittimen perä nostetaan ylös levityksen tauotessa.



KUVA 4. Näyttösalkku.

3.3 Hyödyt

Lämpökamerajärjestelmästä saatiin paljon tietoa levitettävän asfaltin lämpötilasta ja sen vaihteluista. Lämpökameran mittaustuloksista oli reaaliaikaisesti nähtävissä selkeitä vaihteluita massan lämpötilassa. Massan lämpötilaan vaikuttavaksi tekijäksi havaittiin kuljetuskaluston lavojen eristys. Eristämättömien lavojen ja eristettyjen lavojen massan lämpötilaero oli huomattava. Tämä ero pääsi korostumaan kuljetusmatkan ollessa yli 80 km.

3.4 Haitat

Ajorataa päällystettäessä järjestelmässä käytettiin matkan ja nopeuden mittaamiseen matkapyörää. Matkapyörää jouduttiin aika ajoin tarkkailemaan ja puhdistamaan, ettei se

kerää ympärilleen massaa, joka kasvattaa pyörän pyörimiskehää ja antaa väärää tietoa levitysnopeudesta ja kuljetusta matkasta. Tämä ongelma poistui kevyenliikenteenväyliä päällystettäessä tarkemman GPS-paikannuksen ansiosta ja matkapyörää ei enää tarvittu.

3.5 Haasteet

Jo ennen työkohteen aloitusta selvisi, että kohteessa tulee olemaan vaikeaa käyttää lämpökameraa kohteen luonteen takia. Taajama-alueella on paljon työtä hidastavia tekijöitä, kuten paljon liittymiä, hidasteita ja liikenteen jakajia. Nämä tekijät johtavat yleensä pysähdyksiin ja aiheuttavat lämpökamera seurannassa niin sanottuja turhia pysähdyksiä. Alusta asti olikin selvää, että arvonvähennyksiä kyseiseltä kohteelta ei lämpökameran perusteella voinut määrätä.

Levityskaluston suhteen ilmeni myös haasteita. Ajourataa päällystettäessä isomman levittimen käsijarru alkoi jumittua aina pysähdyksen jälkeen liikkeelle lähdettäessä. Tätä ongelmaa yritettiin ratkaista työmaahenkilöstön voimin, mutta pian todettiin, että vikaa ei voida ilman asiantuntevaa huoltohenkilöstä korjata. Ensimmäinen päivä ajoradan päällystämässä venyi levittimen vian takia pitkäksi ja lisäsi osaltaan yli kahden minuutin pysähdyksiä, jotka näkyvät lämpökameran tuloksissa.

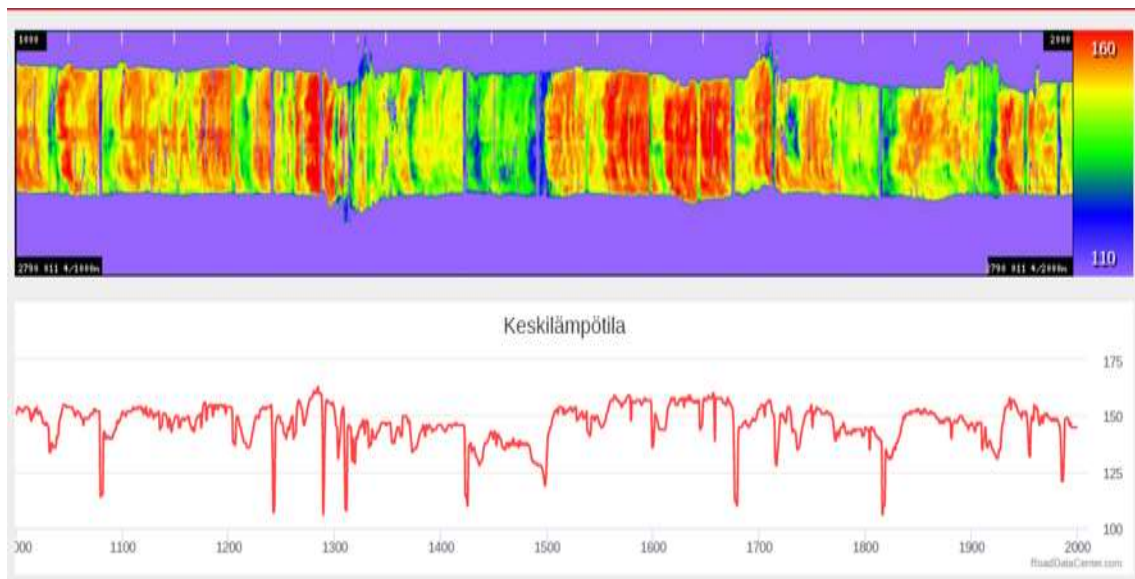
Oman lisähaasteensa toi myös kevyenliikenteenväylien päällystämässä vaadittu lämpökameran käyttö, koska se täytyi toteuttaa pienemmällä levittäjällä, jossa on vähemmän sopivia paikkoja lämpökameran kiinnitykseen. Suuremmassa ajoradan päällystykseen käytetyssä levittimessä matkan mittaus toteutettiin levittimen perään kiinnitetyllä matkapyörällä. Matkapyörän käyttö ei olisi pienemmässä levittimessä onnistunut. Pienempää levitintä varten järjestelmätoimittaja hankki tarkemman GPS-paikantimen, jolla voitiin mitata levittimen matkaa ja nopeutta sekä pysähdysten kestoa. Roadscannersin tukihenkilö hankki tarvittavat kiinnikkeet ja materiaalit, jotta järjestelmä saatiin kiinnitettyä pienempään levittimeen. Kuvassa 5 järjestelmä on kiinnitettynä pienempään levittimeen.



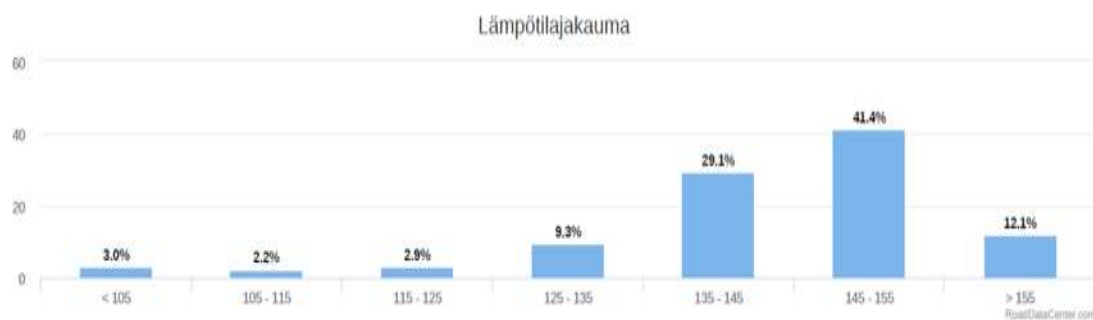
KUVA 5. Lämpökamerajärjestelmä käytössä pienemmässä levittimessä.

3.6 Tulosten läpikäynti

Roadscanners toimitti raportin lämpökameramittausten tuloksista heti kohteen valmistuksen jälkeen. Raportissa esitetään kohteen tapahtumat Väyläviraston ohjeen mukaan. Lämpötilamatot ja -käyrät esitetään 1000 m:n jaksoina (kuva 6). Raportista käy ilmi jokaisen jakson keskilämpötila, yli 2 minuuttia kestäneet pysähdykset sekä riskialueet prosentteina kyseisestä jaksosta. Lämpötilajakauma on esitetty pylväsdigrammina kuvassa 7.



KUVA 6. Lämpötilamatto 1000 m:n pituiselta mittausjaksolta. (9.)



KUVA 7. Lämpötilajakauma eräältä mittausjaksolta. (9.)

Tuloksista voidaan todeta, että ennen urakan alkua tehty olettaus pysähdysten määrästä pitää paikkaansa. Pysähdyksiä syntyi runsaasti kohteen pituuden sekä levityksen päiväsaavutuksen huomioon ottaen. Suurin osa pysähdyksistä johtuu nimenomaan päällystyskohteen ominaisuuksista, jotka aiheuttavat paljon levittimen pysähdyksiä. Osa ensimmäisen levityspäivän suuresta pysähdysmäärästä selittyy levittimen ongelmilla. Riskialueet ajoradan päällystämässä ovat kohtuullisella tasolla kohteen luonteen sekä massan kuljetusmatkan huomioon ottaen. Taulukossa 7 esitetään yhteenveto lämpökameran tuloksista, mistä nähdään pysähdysten lukumäärä sekä riskialueet prosentteina.

TAULUKKO 7. Yhteenveto lämpökameran mittauksista. (9.)

| Tienosa | Massatyyppi | Mittaus Päivä | Pituus | Tavoitelämpötila | Keskilämpötila | Pysähdykset > 2 min / yht | Riskialueet |
|----------------------------------|-------------|--------------------------|--------|------------------|----------------|------------------------------|-------------|
| Ajone 1 päivä 4/0m - 4/2525m | AB | 06.06.2019 07.06.2019 | 2525 m | 100 °C | 145 °C | 43 kpl 128 kpl | 6.0 % |
| Ajone 2 päivä 4/0m - 4/2525m | AB | 05.06.2019 06.06.2019 | 2525 m | 100 °C | 142 °C | 27 kpl 74 kpl | 5.4 % |
| Kaven 1 päivä 411/0m - 411/1500m | AB | 27.06.2019 27.06.2019 | 1500 m | 120 °C | 131 °C | 27 kpl 76 kpl | 7.6 % |
| Kaven 2 päivä 459/0m - 459/1640m | AB | 26.06.2019 28.06.2019 | 1640 m | 120 °C | 128 °C | 31 kpl 70 kpl | 9.8 % |

Kevyen liikenteen väylien päällystyksessä pysähdyksiä syntyi myös odotetusti, koska massa-autojen jouhevaa vaihtoa levittimen eteen ei pystytty korotetun kevyenliikenteenväylän vuoksi tekemään. Massa-auton vaihtuessa syntyi poikkeuksetta aina yli kahden minuutin pysähdys. Hieman yllättävää on nähdä, että kevyenliikenteenväylän päällystyksessä syntyi vähemmän pysähdyksiä kuin ajoradan päällystyksessä. Riskialueita on toisaalta enemmän, mikä oli odotettavaa, koska massa-auton vaihdon aikana syntyi lähes aina pitkäkestoinen pysähdys, mikä kasvattaa riskialueiden määrää.

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Lämpökamerajärjestelmän käyttö laadunosoitusmittauksissa on erittäin hyvä ja sen käyttöä tullaan varmasti lisäämään tulevaisuudessa. Kohteet tulee kuitenkin valita huolellisesti. Erityisesti täytyy ottaa huomioon kohteen luonne. Taajama- ja keskusta-alueille lämpökameran käytöstä ei saada vastaavaa hyötyä, kuin isommilla selkeillä levityskohdeilla on saatu. Kohteilla, joissa on paljon oheistyyötä sekä levitystä hidastavia ja haittaavia tekijöitä, lämpökamera ei anna luotettavaa kuvaa massan tasalaatuisuudesta, koska osa riskialueista ja pysähdyksistä johtuu yksinomaan päällystyskohteen luonteesta.

Järjestelmä ei häiritse levitystyötä eikä siten itsessään aiheuta minkäänlaisia laatupoikkeamia. Järjestelmä on helppokäyttöinen ja antaa hyödyllistä tietoa levitysryhmälle sekä työnjohdolle massan laadusta.

Tässä työssä käsitellyn kohteen massan lämpötilan tasalaatuisuutta oli hankala parantaa kuljetusmatkan pituuden takia. Tasalaatuisuutta olisi voinut parantaa, jos käytettävissä olisi ollut tarpeeksi massa-autoja, joiden lavat olisivat lämpöeristettyjä.

5 POHDINTA

Tämän työn tarkoituksena oli perehtyä uuden asfalttipäällysteen laadunvarmistamiseen sekä lämpökamerajärjestelmän käyttöön työnaikaisen laadunvalvonnan työkaluna sekä samalla tarkkailla lämpökameran käytön hyödyllisyyttä taajama-alueella tehtävässä päällystystyössä. Hanke oli erittäin mielenkiintoinen ja opettavainen ja tämän työn ansioista pääsin syventymään asfaltin laadunvalvontaan paremmin.

Työkohde oli erittäin hyvä, koska lämpökameraa ei ollut aiemmin käytetty vastaavanlaisessa päällystyskohteessa. Lisäksi kohteen koko vaikutti siihen, että massa kuljetettiin suhteellisen kaukaa yli 80 km:n päästä työmaalle, mikä lisäsi aiheen kiinnostavuutta entisestään. Näin pitkällä kuljetusmatkalla massa-autojen kuormakoko sekä lavan eristys tai eristämättömyys näkyi selvästi.

Suurimpana huolenaiheena oli massa-autojen riittävyys sekä se, jos levitys- tai kuljetuskaluston kanssa tulisi ongelmia. Toisaalta näihin ei voinut varautua liikaa, että kustannukset saatiin pidettyä kurissa. Jälkeenpäin voi todeta, että massa-autojen riittävyys oli hyvä ja suuremmilta ongelmilta muunkin kaluston kanssa vältyttiin. Ainoana puutteena huomasin kuljetuskaluston lavojen eristämättömyyden. Lähes puolet autoista oli varustettu eristetyillä lavoilla, joiden kipatessa pystyi lämpökamerasta huomaamaan massan lämpötilassa nousua, jos edellinen kippaava auto oli ollut eristämättömillä lavoilla varustettu. Tiedostin tämän ongelman heti urakan alkuvaiheessa, mutta kaikki saatavilla olevat eristetyt lavat olivat jo käytössä.

Tämä työ antaa varmuutta sille, miten tulee toimia seuraavassa vastaavanlaisessa urakassa. Mikäli lämpökameraa käytetään vastaavalla kohteella jatkossakin ja, jos bonus- ja arvonvähennysperusteet ovat silloin käytössä, täytyy työn suunnitteluun käyttää enemmän aikaa ja pyrkiä toteuttamaan työ siten, että turhilta pysähdyksiltä voidaan välttyä.

Tästä työstä on apua myös seuraavaan isompaan urakkaan, jossa käytetään lämpökameraa, koska nyt tiedän, mitä sen käytöllä halutaan valvoa ja mitä hyötyjä siitä on työnaikaisessa laadunvarmistuksessa.

LÄHTEET

1. Tieverkko. Väylä.fi. Saatavissa: <https://vayla.fi/tieverkko#.XjICZeTV6Uk>. Hakupäivä 4.2.2020.
2. Tienpäälystys- ja tiemerkintäurakoiden kilpailutus. Väylä.fi. Saatavissa: <https://vayla.fi/palveluntuottajat/hankinnat/tiepaallysteet#.XjIBu-TV6Uk>. Hakupäivä 4.2.2020.
3. Saarenketo, Timo. 2009. Lämpökameran käyttö kuivatustutkimuksissa. Kittilän testitutkimukset 2007. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 15/2009. Tiehallinto. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf2/4000656-v-lampokameran_kaytto.pdf. Hakupäivä 3.2.2020.
4. Asfalttinormit 2017. PANK RY. Helsinki: Premedia Helsinki Oy.
5. Uusien päällysteiden laadunosoitusmittaukset 2020. Väyläviraston ohjeita 1/2020. Väylä. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo_2020-01_uusien_paallysteiden_web.pdf. Hakupäivä 6.2.2020.
6. Forstén Lars. Infra-alan ympäristöpäivä, 23.10.2015, Fennia, Helsinki. Lemminkäinen Infra Oy, Päälystysliiketoiminta. Asfaltti- monikäyttöinen ja uudistuva. Rakennusteollisuus. Saatavissa: <https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/infra/ajankoh-taista/esitysaineistot/ymparistopaiva-23.10.2015/asfaltti--monikayttoinen-ja-uudistuva.pdf>. Hakupäivä 6.2.2020.
7. Asfalttialan oppimateriaali (ASKO). 2018. Kuljetus. Pank.fi. Saatavissa: <http://pank.fi/tekniset-vaatimukset/muut-julkaisut/opinnaytteet-ja-muut-selvitykset/asfalttialan-oppimateriaali-asko>. Hakupäivä: 6.2.2020.
8. Digipilotointi Moba IR-Scanner Loppuraportti. Lemminkäinen. 2018. Saatavissa: https://vayla.fi/documents/20473/431718/PaveIR_Digip%C3%A4%C3%A4llystepi-lotti.pdf/889aedef-ae77-4e72-a67c-adc2fe588e06. Hakupäivä: 10.2.2020.
9. Pääkkö, Juuso. 2019. Erään päällystyskohteen lämpökameramittauksen loppuraportti. Roadscanners Oy.

10.RD Paver Service. Roadscanners Oy. Saatavissa: <https://www.roadscanners.com/services/rd-paver-service/>. Hakupäivä: 10.2.2020.